

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

УДК 550.8.013

В. Зацерковний, д-р техн. наук, доц.,

E-mail: zvigis@mail.ru,

І. Тішаєв, канд. фіз.-мат. наук, доц.,

E-mail: ivantishaev@yandex.ru,

Р. Шульга, асп.,

E-mail: rshulga7@gmail.com

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ІНІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

ДЖЕРЕЛА ПОХОДЖЕННЯ ТА ВЗАЄМОДІЯ МІКРОСЕЙСМ З ГЕОЛОГІЧНИМ СЕРЕДОВИЩЕМ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. С. А. Вижвою)

Досліджено можливість використання природного мікросейсмічного випромінювання Землі для пошуку та моделювання геологічного середовища, визначення джерел походження та характеру розповсюдження в земній корі.

Розглянуто особливості утворення та поширення низькочастотних сейсмічних сигналів літосферного походження (мікросейсм). Проаналізовано діапазони поширення мікросейсмічних хвиль у земній корі. Наведено приклади використання взаємодії низькочастотних сейсмічних сигналів з глибинною будовою Землі. Визначено умови поширення мікросейсмічних сигналів з геологічною будовою на денній поверхні та форму її відображення. Проведено аналіз характеристик мікросейсмічних хвиль та визначено діапазон, який є найбільш інформативним для подальшого геологічного дослідження. Розглянуто різні гіпотези щодо ефекту наявності аномалій у низькочастотній частині спектра природних мікросейсм над нафтогазовими покладами. Встановлено взаємозв'язок покладів нафти й газу з частотними характеристиками мікросейсмічних хвиль. Розглянуто методику обробки виявлення кількісних і якісних параметрів нафтогазових покладів на основі ефекту поширення мікросейсмічного випромінювання в земній корі.

На основі проведеного аналізу зроблено висновок про те, що актуальним завданням є визначення основних положень теоретичної моделі ефекту та його практичного використання. Застосування моделі проводити на репрезентативній вибірці для можливості використання порівняльного аналізу отриманих даних.

Використання методики надає можливість зменшити час на геолого-пошукові роботи та знизити вартість робіт. Практичне застосування моделі ефекту поширення мікросейсмічних хвиль можливе для пошуку та локалізації покладів вуглеводнів, а також оцінювання глибин залягання неоднорідностей, зокрема контурів нафто- і газоносності. Можливе застосування методики для об'ємного геологічного моделювання з використанням даних дистанційного зондування Землі.

Ключові слова: мікросейсми, ультранизькочастотні електромагнітні хвилі, ендегенні джерела, дистанційне зондування Землі, поклади нафти й газу.

Вступ. Експериментально встановлено, що літосфера здатна генерувати наднизькочастотні електромагнітні та сейсмоакустичні збурення, які автори [3, 10] називають мікросейсмами. Мікросейсмічні хвилі завжди присутні на поверхні Землі в кожній її точці. У коливальному процесі беруть участь як верхні, так і більш глибокі частини земної кори, а також верхня мантія. Завдяки цьому мікросейсми дозволяють досліджувати земні надра до великих глибин і виявляти особливості геологічних структур різного масштабу.

Мікросейсми – це складне явище, компонентами якого є ендегенні й екзогенні шуми, обумовлені відповідними процесами як природного, так і техногенного походження: припливами і хвильовою діяльністю океану, землетрусами, вибухами тощо. Мікросейсмічні коливання поширюються через всю земну кору. Сейсмоакустична ефективність геологічного середовища (у сенсі здатності генерувати вторинні розсіяні хвилі) визначається його напружено-деформаційним станом і речовинною неоднорідністю. Мікросейсми поширюються в діапазоні 0,5–20 Гц [10]. Досліджуваними властивостями мікросейсмічних хвильових процесів є фазові й амплітудно-частотні характеристики, кореляція амплітуд на різних частотах, а також зміни цих параметрів у часі. В роботі розглядаються два питання: зв'язок параметрів мікросейсмічного випромінювання з первинними джерелами випромінювання пружної енергії та зв'язок параметрів мікросейсм зі структурою і літологією. За допомогою вивчення мікросейсмічності можливе також виявлення деформаційних хвиль, що поширюються на континенти від зон спрединга й часто викликають землетруси. В роботі [10], проведено дослідження в районі Архангельська, де було заплановано будів-

ництво атомної теплоелектростанції. Однак в цьому районі наявний активний розлом, виявлений за аналізом даних мікросейсм.

Аналіз характеристик і умов спостереження мікросейсм. Джерелами мікросейсмічного випромінювання є ендегенні (глибинні) й екзогенні (поверхневі) процеси. В свою чергу, ці джерела породжують різні за амплітудно-частотними характеристиками випромінювання.

Мікросейсмічний фон Землі в точці спостереження становить суперпозицію коливань, викликаних як природними причинами (відзвуки віддалених землетрусів, локальні мікроземлетруси, поверхневі шуми, дія земних припливів, штормові мікросейсми, йоносферні явища, погодні явища – дощі, град, сильний вітер), так і техногенними джерелами – рухомим транспортом, роботою машин і механізмів, рухом домашньої худоби. На рис. 1 [1] наведено типовий вид мікросейсмічного сигналу тривалістю 1500 секунд з деталізацією ділянок тривалістю 100 і 5 с, по осі ординат відкладено швидкість вертикальних коливань поверхні Землі в місці реєстрації.

Усі природні низькочастотні мікросейсми мають імпульсне походження, зокрема про це свідчить ряд досліджень [1]. З рис. 1 видно, що мікросейсмічний сигнал складається з окремих хвильових пакетів різної амплітуди й фази тривалістю 2–3 с. При цьому можна очікувати, що відносно високоамплітудні та добре локалізовані у частотній області гармоніки обумовлені заляганнями на різних глибинах неоднорідностями (мова йде, насамперед, про наявність у геологічному середовищі акустично жорстких границь).

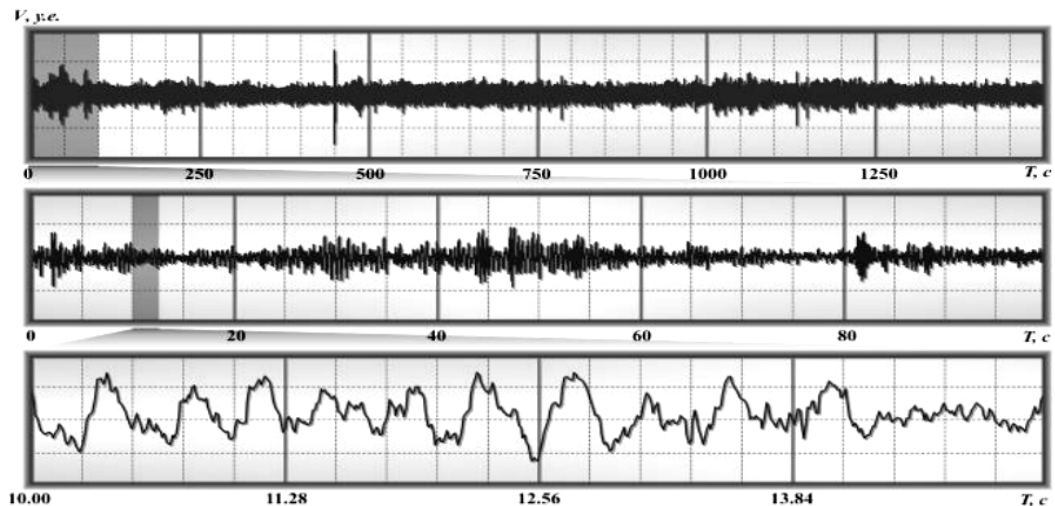


Рис. 1. Сейсмоакустичний сигнал у часовій області (ілюстрація за [1])

Задачу поширення мікросейсмічних хвиль від неоднорідностей геологічного середовища О. Печніков [6] досліджував на прикладі розсіювання плоскої монохроматичної хвилі на макронеоднорідності. Первинне сейсмічне випромінювання (рис. 2) (чорна стрілка) розсіюється на неоднорідностях геологічного середовища (червоний еліпс) з параметрами анізотропії a , b . Розсіяне випромінювання, поширюючись до денної поверхні під кутом θ у вигляді конуса, призводить до мікрозсувів поверхні спостереження.

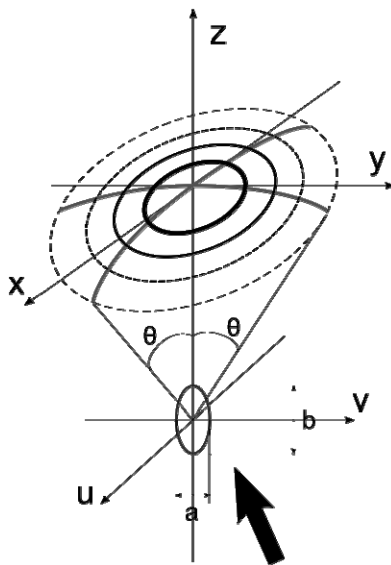


Рис. 2. Розсіювання первинного й формування вторинного сейсмічного випромінювання (мікросейсм)

Форма амплітудного спектра розсіяного випромінювання визначається кутом падіння первинного сейсмічного випромінювання, кутом розсіювання θ , параметрами анізотропії неоднорідностей a , b . Експериментально доведено на прикладі одноразового розсіювання первинного сейсмічного випромінювання на анізотропних неоднорідностях для різних кутів падіння цього випромінювання, що у всіх випадках його проекція на горизонтальну поверхню спостереження матиме форму кільця (рис. 3). Розсіяне випромінювання, впливаючи на поверхню спостереження протягом тривалого часу, формує на ній своєрідний малюнок з безліччю кілець різного радіусу.

Результат такого впливу теоретично може бути зафіксований на матеріалах дистанційних зондувань (аеро- і космоснімання), оскільки надмалі зміщення поверхні спостереження здатні приводити до істотних варіацій зареєстрованого відбитого випромінювання.

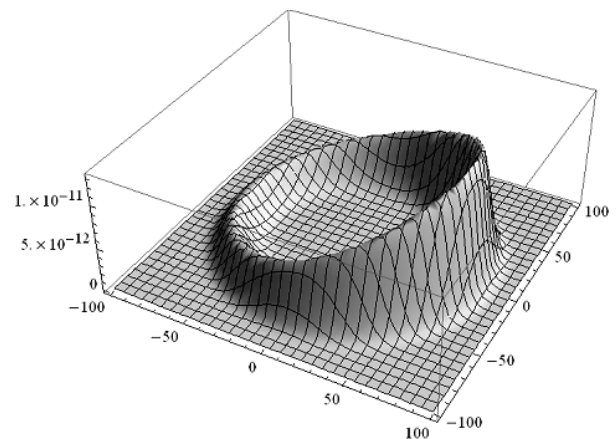


Рис. 3. Збурення поверхні спостереження розсіяними на неоднорідностях мікросейсмами з кутом падіння первинного сейсмічного випромінювання, відмінного від нуля

Прикладне значення. Залишається відкритою проблема ідентифікації та обробки інформації, що надає мікросейсмічне випромінювання. Більшість авторів і дослідників використовує високочутливі сейсмічні датчики для виділення мікросейсм та подальшого аналізу. Варто також розглянути спосіб застосування мікросейсм як явища, що пов'язує процеси, які відбуваються в надрах Землі, з процесами на поверхні. Зокрема, як зазначалося вище, під впливом мікросейсм неоднорідності геологічного середовища формують на поверхні мікрозміщення частинок ґрунту, води, аномалії рослинності, мікрорельєф та ін. Цими мікрозміщеннями модулюється відбите від денної поверхні сонячне випромінювання, яке реєструється засобами дистанційних зондувань (аеро- і космоснімання).

Аналіз просторових варіацій спектра локального мікросейсмічного поля свідчить про наявність на поверхні Землі спектральних аномалій: над високошвидкісними неоднорідностями амплітуди певної частоти зменшуються, а над низькошвидкісними неоднорідностями зростають [5].

Гіпотеза резонансу мікросейсм передбачає, що активними джерелами випромінювання є як природні явища, так і техногенні процеси, а геосередовище відіграє роль фільтра.

Природні флюїди – нафта, вода, газ – концентруються в тріщинувато-пористих середовищах, утворюючи поклади, що за своїми сейсмо-акустичними властивостями суттєво відрізняються від уміщуючих порід. У рамках гіпотези резонансу вважається, що такі поклади можуть утворювати стоячі хвилі. Таким чином, частотна область 2–4 Гц є суперпозицією резонансів поверхня-поклад, поверхня-фундамент. Кореляційний аналіз цих сейсмічних спостережень показав [7], що дана область спектра сигналу являє собою сукупність мікросплесків з часом кореляції 1–2 с, що підтверджує єдину природу виникнення максимумів спектральної щільності потужності при багаторазовому відбитті від фундаменту і від нафтогазонасиченого пласта.

Ефект наявності аномалій у низькочастотній частині спектра природних мікросейсм над нафтогазовими покладами описується різними гіпотезами. Зокрема, розглядаються гіпотези виникнення ефекту на механізмах фільтрації мікросейсмічного фону геологічним середовищем.

Аналізуючи дані авторів [1, 3, 7, 10], можна виділити діапазон частоти мікросейсмічного випромінювання. Найбільш корисну інформацію з мікросейсм отримують у діапазоні частот від 2 до 4 Гц.

У роботі [14] повторено висновки російських дослідників про переважання частот у інтервалі від 1,5 до 4 Гц у діапазоні мікросейсм над покладами вуглеводнів. Цікаво, що спектри від різних родовищ у різних країнах світу мають не тільки однакову частоту, але практично однакову форму, як наприклад спектри від родовищ на Близькому Сході і в Європі, показані на рис. 4.

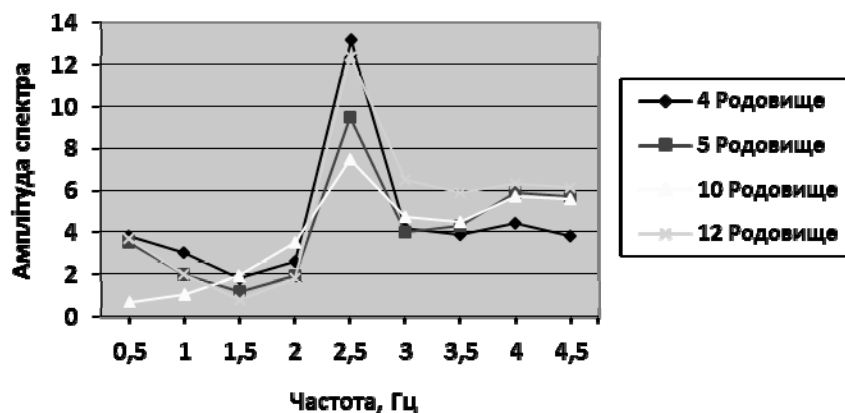


Рис. 4. Спектр мікросейсм над покладами вуглеводнів завжди знаходиться в інтервалі частот від 1,5 до 4 Гц: цифрами позначаються графіки спектра, що відносяться до різних родовищ нафти та газу: 4, 5 і 12 – у Арабських Еміратах, 10 – родовище газу в Швейцарії; дані з роботи [14]

У роботі [13] (рис. 5) показано, що над нафтогазовими покладами спостерігається аномальне мікросейсмічне випромінювання з переважним частотним спектром від 2 до 4 Гц.

Фізичні причини того, що поклади вуглеводнів мають аномальне низькочастотне випромінювання, ґрунтуються на спільному впливі декількох факторів. Учені Арутюнов, Графов, Нерсесов, Садовський і Николаев пояснюють розглянутий ефект явищем власної, запасеної, внутрішньої енергії вуглеводнів, а також термодинамічною нестійкістю складних вуглеводневих систем і фазовими переходами в них і масообміном при поширенні низькочастотних сейсмічних коливань.

Деякі інші гіпотези, названі в роботі [11], наводять одне з пояснень, основане на моделі резонансного посилення природного шумового поля Землі за рахунок коливань нафтових крапель. Основною ідеєю цієї моделі є те, що через капілярний ефект краплі нафти у вміщуючій породі будуть коливатися на резонансній частоті. Це явище інтерпретується як можливе джерело спектральних аномалій, що спостерігаються над покладами вуглеводнів [12–13]. Однак дослідження показують, що модель резонансного посилення від коливань крапель нафти не універсальна (наприклад, модель діє тільки за умови часткового флюїдозаповнення пор) і не може бути прийнята для пояснення явища існування мікросейсм над нафтогазовими покладами.

Інші пояснення, що обґрунтовують виникнення додаткової спектральної енергії мікросейсм у нафтогазових покладах, основані на аномальному розсіянні низь-

кочастотних сейсмічних хвиль на газових бульбашках. Існують й інші моделі, наприклад модель [15], у якій спостерігаються особливості спектра мікросейсм від покладів вуглеводнів, які утворюються від частотно-фільтраційних властивостей горизонтально-шаруватої товщі геологічного середовища при поширенні в ній сейсмічної хвилі.

Однак, відсутність єдиної, загально визнаної та універсальної фізичної моделі виникнення мікросейсмічних випромінювань над нафтогазовими покладами не завадила успішному розвитку методів низькочастотного й середньочастотного зондування для виявлення нафти та газу.

Використовуючи уявлення про фізичні передумови ефекту поширення мікросейсмічного випромінювання в земній корі, Ю.І. Фівенський створив методику [8] прогнозування кількісних і якісних параметрів нафтогазових покладів та інших об'єктів геологічного середовища.

Експериментально було виявлено [4], що мікросейсми поширюються по всій земній корі і, потрапляючи на акустично жорсткі неоднорідності геологічного середовища, утворюють вторинні розсіяні (дифраговані) хвилі, які поширюються до поверхні Землі у вигляді конусів, кут твірної яких зазвичай дорівнює $\sim 72^\circ$. Таким чином, під впливом цих хвиль неоднорідності геологічного середовища формуватимуть на поверхні концентричні малоамплітудні структури (кільця). Фізично такі структури являють собою мікрозміщення частинок ґрунту. Для практичних цілей можна вважати, що залежність радіусів концентричних кілець від глибини залягання породжуючих їх неоднорідностей є лінійною.

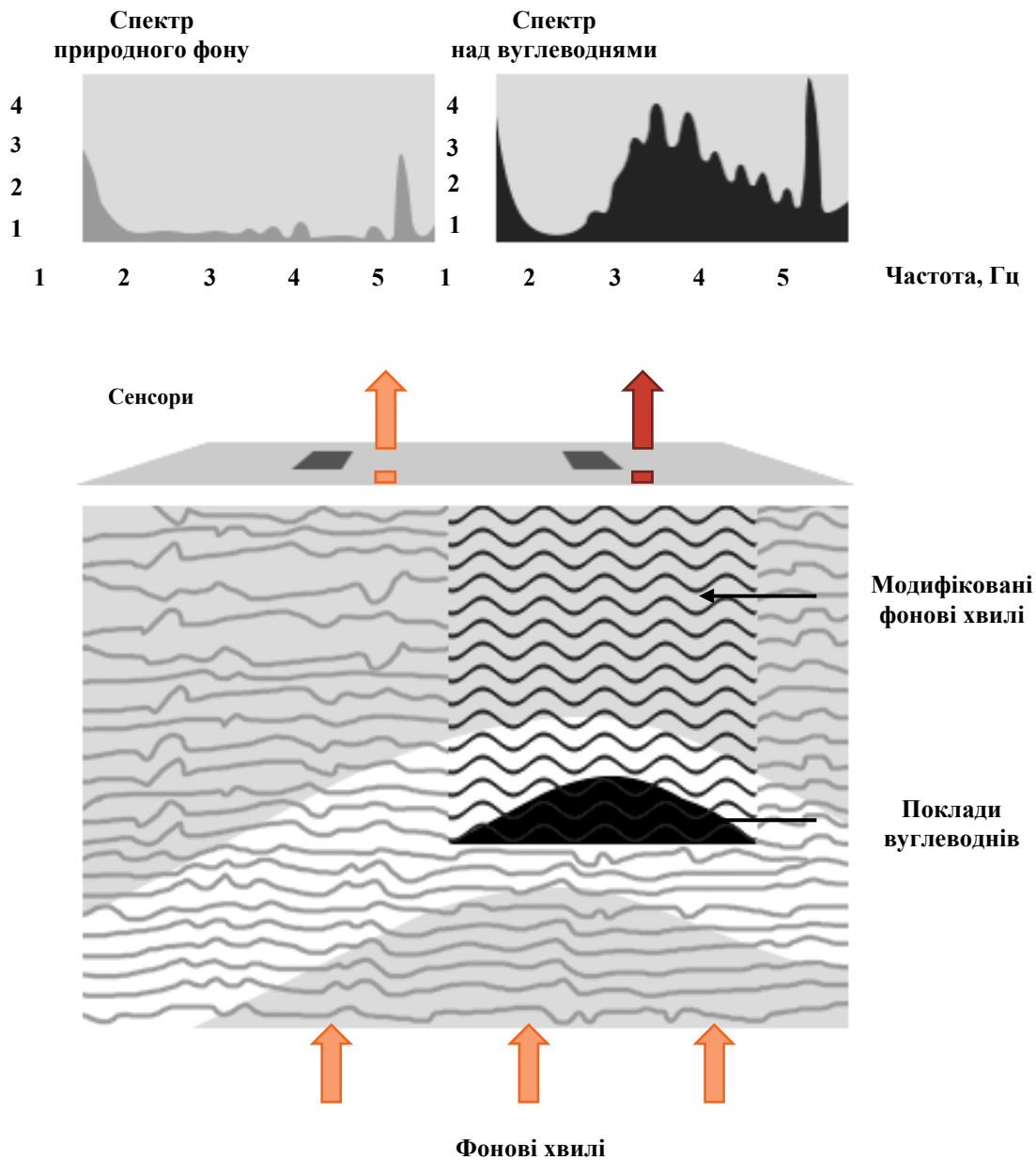


Рис. 5. Спектр від природного мікросейсмічного випромінювання землі і спектр над покладами вуглеводнів [13]

Видима на поверхні складна інтерференційна картина являє собою малоамплітудні кільцеві аномалії, для виділення яких на аеро- або космоснімку використовується аналіз статистичних характеристик розподілу яскравості пікселів у кільці фіксованого радіуса для кожної точки аналізованого зображення. Алгоритм дослідження природним чином розширюється для пошуку кільця заздалегідь невідомого радіуса шляхом перебору всього діапазону аналізованих радіусів. Таким чином, для кожної аномалії в надрах виділяються відповідні їй кільцеві структури на поверхні, які дають можливість визначити її місце розташування й глибину залягання. Можливість існування кільця (їхня амплітуда в мікрорельєфі, або відносна яскравість на оптичних космоснімках, або коефіцієнт розсіювання/відображення на радарних знімках) безпосередньо залежить від вираженості неоднорідностей геологічного середовища на тлі вміщуючих порід.

Після проведеного аналізу моделі ефекту мікросейсмічного випромінювання, виникло декілька невирішених

питань. Зокрема, потрібно з'ясувати можливість застосування моделі на різних типах покладів, порівняти дані мікросейсмічного випромінювання на різних типах рельєфу, а також провести апробацію моделі на шельфі.

Висновки. Фізика мікросейсмічних хвиль природного походження залишатися остаточно не з'ясованою. Ця сфера досліджень розвивається з року в рік. Проблематика збагачується цікавими теоріями та практичними завданнями. Аналіз теоретичної моделі ефекту та методів його практичного застосування для вивчення будови геологічного середовища, в першу чергу, для виявлення й визначення параметрів покладів вуглеводнів, залишається актуальним завданням.

Проведений аналіз частот поширення мікросейсмічного випромінювання свідчить про те, що хвилі несуть корисну інформацію на частоті 2–4 Гц. Ця інформація є передумовою до використання низькочастотних акустичних хвиль для пошуку неоднорідностей геологічного середовища, зокрема, покладів нафти та газу. Валідація методик із практичного застосування явища мікросейсмі-

пов'язаних із ним ефектів має передбачати порівняльний аналіз результатів за репрезентативною (у геологічному відношенні) вибіркою родовищ нафти та газу.

Планується апробація методики на родовищах нафти й газу на території Австралії. Ця територія достатньо досліджена і має попередні дані геологічного вивчення, які можуть бути використані для порівняння з даними, отриманими за описаною методикою. Вхідними даними для обробки заплановано взяти знімки Landsat 7 ETM+. Для обробки космоснімка розроблено власний функціонал у середовищі MatLab.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Анализ спектральных характеристик микросейсм как метод изучения структуры геологической среды [Электронный ресурс] / Д. В. Бережной, Е. В. Бириальцев, Т. Е. Бириальцева и др. // НИИ математики и механики Казанского университета. 2003–2007 гг. / Научн. ред. и сост. А. М. Елизаров. – Казань : Изд-во Казанск. гос. ун-та, 2008. – С. 360–386. – Режим доступа : www.gradient-geo.com/library/storing.php?doing=CUFv41rMW.
2. Бириальцев Е. В. Некоторые характеристики аномалий низкочастотного сейсмоакустического поля над нефтегазовыми залежами в республике Татарстан [Электронный ресурс] / Е. В. Бириальцев, В. А. Рыжов // Геология, Геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2008. – № 4. – С. 16–22. – Режим доступа : www.gradient-geo.com/library/storing.php?doing=RF5UOI3zN. – дата звернення: 05.09.2016.
3. Гульельми А. В. Ультранизкочастотные электромагнитные волны в коре и в магнитосфере Земли / А. В. Гульельми // Успехи физических наук. – 2007. – Том 177, № 12. – С. 1257–1279.
4. Дурандин А. В. Структурно-тектонический анализ данных дистанционного зондирования Земли / А. В. Дурандин // Геоматика. – 2011. – № 1. – С. 48–51.
5. Исследование глубинного строения Пятигорского вулканического центра методом микросейсмического зондирования / Р. А. Жостков, Ю. П. Масуренков, З. И. Дударов и др. // Геоакустика : XXV сессия Российского акустического общества, Сессия Научного совета по акустике РАН. – М. : ГЕОС, 2012. – С. 325–328.
6. Печников А. Поиск залежей полезных ископаемых по данным зондирования Земли [Электронный ресурс] / А. Печников. – Режим доступа : <http://cybert.biz/doc/trunk/www/geomed3d.wiki>. – дата звернення : 25.05.2015.
7. Рыжов В. А. Природа низкочастотной аномалии спектра микросейсм над нефтяными залежами [Электронный ресурс] / В. А. Рыжов, Е. В. Бириальцев, О. Н. Шерстюков // Проблемы геологии и освоения недр : Матер. X Междунар. науч. симпозиума им. академика М. А. Усова студентов и молодых учёных. – Томск, 2006. – С. 43–44. – Режим доступа : http://www.gradient-geo.com/m_library.php.
8. Фивенский Ю. И. Использование материалов аэрокосмических съемок для изучения земной коры / Ю. И. Фивенский // Геодезия и картография. – 2006. – № 1. – С. 44–52.
9. Шульга Р. В. Дистанційне дослідження Землі з використанням структурно-тектонічного аналізу [Електронний ресурс] / Р. В. Шульга // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. – 2015. – Вип. 12. – С. 81–84. – Режим доступа : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ttpag_2015_12_9.
10. Юдахин Ф. Н. Микросейсмичні коливання - важливе джерело інформації. / Ф. Н. Юдахин // Вестник Уральского отделения РАН. – 2010. – № 3(33). – С. 65–73.
11. A passive seismic survey over a gas field: Analysis of low-frequency anomalies. *Geophysics* / E. H. Saenger, S. M. Schmalholz, M.-A. Lambert et al. // *Geophysics*. – 2009. – Vol. 74 (2). – С. 29–40. – DOI: 10.1190/1.3078402.
12. Frehner M. Spectral modification of seismic waves propagating through solids exhibiting a resonance frequency: A 1-D coupled wave propagation-oscillation model / M. Frehner, S. M. Schmalholz, Y. Podladchikov // *Geophysical Journal International*. – 2009. – Vol. 176, I. 2. – С. 589–600. – DOI: 10.1111/j.1365-246X.2008.04001.x.
13. Hydrocarbon microtremors interpreted as nonlinear oscillations driven by oceanic background waves / R. Holzner, P. Eschle, S. Dangel et al. // *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*. – 2009. – 14. I. 1. – С. 160–173. – DOI: 10.1016/j.cnsns.2007.06.013.
14. Phenomenology of tremor-like signals observed over hydrocarbon reservoirs. / S. Dangel, M. E. Schaeppman, E. P. Stoll et al. // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. – 2003. – 128. – С. 135–158.
15. The analysis of microseism spectrum for prospecting of oil reservoir in Republic Tatarstan / E. V. Birialtsev, I. N. Plotnikova, I. R. Khabibulin, N. Y. Shabalin // *EAGE, 69 Conference & Exhibition (Saint Petersburg, Russia, 16–19 October, 2006)*. – Saint Petersburg, 2006. – B 016.

REFERENCES:

1. Bereznoi D. V., Birialtsev E. V., Birialtseva T. E. et al. (2008). Analiz spektralnykh kharakteristik mikroseyzm kak metod izucheniya struktury geologicheskoi sredy. *Nil matematiki i mekhaniki Kazanskogo universiteta*. 2003-2007 gg. Ed. by A.M. Elizarov. (pp. 360-386). Kazan: Izd-vo Kazansk. gos. un-ta. Retrieved from www.gradient-geo.com/library/storing.php?doing=CUFv41rMW. [in Russian].

2. Biryaltsev E. V., Ryzhov V. A. (2008). Nekotorye kharakteristiki anomalii nizkochastotnogo seysmoakusticheskogo polya nad neftegazovymi zalezhami v respublike Tatarstan. *Geologiya, Geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdenii*, 4, 16–22. Retrieved from www.gradient-geo.com/library/storing.php?doing=RF5UOI3zN. [in Russian].

3. Gulelmi A. V. (2007). Ultrazhichastotnye elektromagnitnye volny v kore i v magnitosfere Zemli. *Uspehi fizicheskikh nauk*, 177, 12, 1257–1279. [in Russian].

4. Durandin A. V. (2011). Strukturno-tektonicheskiy analiz dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli. *Geomatika*, 1, 48–51. [in Russian].

5. Zhostkov R. A., Masurenkov Yu. P., Dударov Z. I. et al. (2012). Issledovanie glubinnogo stroeniya Pyatigorskogo vulkanicheskogo tsentra metodom mikroseymskikh zondirovaniya. *Geoakustika. XXV sessiya Rossiyskogo akusticheskogo obschestva, Sessiya Nauchnogo soveta po akustike RAN*. (pp. 325–328). Moscow: GEOS. [in Russian].

6. Pechnikov A. (n.d.). Poisk zalezhey poleznykh iskopaemykh po dannym zondirovaniya Zemli. [Elektronniy resurs] – Retrieved from <http://cybert.biz/doc/trunk/www/geomed3d.wiki> (25.05.2015). [in Russian].

7. Ryzhov V. A., Birialtsev E. V., Sherstiukov O. N. (2006). Priroda nizkochastotnoy anomalii spektra mikroseyzm nad neftyanyimi zalezhami. *Problemy geologii i osvoeniia nedr: Mater. X Mezhdunar. nauch. simpoziuma im. akademika M. A. Usova studentov i molodykh uchennykh*. (pp. 43–44). Tomsk. Retrieved from http://www.gradient-geo.com/m_library.php. [in Russian].

8. Fivenskiy Yu. I. (2006). Ispolzovanie materialov aerokosmicheskikh s'emok dlya izucheniya zemnoy kory. *Geodeziya i kartografiya*, 1, 44–52. [in Russian].

9. Shulga R. V. (2015). Distantsiynne doslidzhennya Zemli z vikoristanniam strukturno-tektonichnogo analizu. *Teoretichni ta prikladni aspekti geoinformatyky*, 12, 81–84. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ttpag_2015_12_9. [in Ukrainian].

10. Yudahin F. N. (2010). Mikroseymskieskie kolebaniya - vazhnyy istochnik informatsiyi. *Vestnik Uralskogo otdeleniya RAN*, 3(33), 65–73. [in Ukrainian].

11. Saenger E. H., Schmalholz S. M., Lambert M.-A., Nguyen T. T., Tones A., Metzger S. et al. (2009). A passive seismic survey over a gas field: Analysis of low-frequency anomalies. *Geophysics*, 74(2), 29–40. DOI: 10.1190/1.3078402.

12. Frehner M., Schmalholz S. M., Podladchikov Y. (2009). Spectral modification of seismic waves propagating through solids exhibiting a resonance frequency: A 1-D coupled wave propagation-oscillation model. *Geophysical Journal International*, 176, 2, 589–600. DOI: 10.1111/j.1365-246X.2008.04001.x.

13. Holzner R., Eschle P., Dangel S., Frelmer M., Narayanan C., Lakehal D. (2009). Hydrocarbon microtremors interpreted as nonlinear oscillations driven by oceanic background waves. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 14, 1, 160–173. DOI: 10.1016/j.cnsns.2007.06.013.

14. Dangel S., Schaeppman M. E., Stoll E. P., Carniel R., Barzandji O., Rode E.-D., Singer J. M. (2003). Phenomenology of tremor-like signals observed over hydrocarbon reservoirs. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 128, 135–158.

15. Birialtsev E. V., Plotnikova I. N., Khabibulin I. R., Shabalin N. Y. (2006). The analysis of microseism spectrum for prospecting of oil reservoir in Republic Tatarstan. *EAGE, 69 Conference & Exhibition (Saint Petersburg, Russia, 16–19 October, 2006)*. (B 016). Saint Petersburg.

Надійшла до редколегії 24.10.16

V. Zatserkovny, Dr. Sci. (Tech.), Assoc. Prof.
E-mail: zvigis@mail.ru,
I. Tishaev, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Assoc. Prof.
E-mail: ivantishaev@yandex.ru,
R. Shulga, Postgraduate Student
E-mail: rshulga7@gmail.com,
Institute of Geology
Taras Shevchenko National University of Kyiv
90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine

MICROSEISM ORIGINS AND INTERACTION WITH THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT

Use of natural microseismic radiation of the Earth for identification and modelling of the geological environment and the definition of the sources origin and propagation character in the earth's crust were analyzed.

The features of the formation and propagation of low-frequency seismic signals of lithospheric origin (microseism) were examined. The propagation ranges of microseismic waves in the Earth's crust were analyzed. Examples of using of interaction of low frequency seismic signals with the inner structure of the Earth were given in this paper. The conditions for the propagation of microseismic signals in the earth's crust, their distribution from heterogeneities of the geological environment were estimated. The paper studies the character of mapping of interaction of microseism with the geological structure on the daylight surface and its shape. Analysis of microseismic waves characteristics was carried out and the range, which is the most informative for further geological research, was defined. Consideration was given to different hypotheses about the effect of the presence of anomalies in low-frequency part of the microseism spectrum over natural oil and gas deposits. The relationship of oil and gas deposits with the frequency characteristics of microseismic waves was defined. The method of processing the identification of quantitative and qualitative parameters of oil and gas deposits based on the effect of the microseismic radiation propagation in the Earth's crust were studied.

On the analysis basis it was concluded that the actual task was to define the central tenet of the theoretical model of the effect and its practical use. The use of models was carried out on a representative sample in order to use a comparative analysis of the data obtained.

The application of techniques allows to reduce the time of geological and prospecting work and cut the cost of work. The practical application of the propagation effect model of the microseismic waves is possible for search and localization of hydrocarbon deposits, as well as the evaluation of the depth of occurrence of inhomogeneities, in particular oil and gas-bearing contours. The technique for three-dimensional geological modeling using remote sensing data can also be applied.

Keywords: *microseisms, ultra-low frequency electromagnetic waves, endogenous sources, remote sensing of the Earth, oil and gas deposits.*

В. Зацерковный, д-р техн. наук, доц.,
E-mail: zvigis@mail.ru,
И. Тишаев, канд. физ.-мат. наук, доц.,
E-mail: ivantishaev@yandex.ru,
Р. Шульга, асп.,
E-mail: rshulga7@gmail.com,
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

ИСТОЧНИКИ ПРОИСХОЖДЕНИЯ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МИКРОСЕЙСМ С ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДОЙ

Исследована возможность использования природного микросейсмического излучения Земли для поиска и моделирования геологической среды, определения источников происхождения и характера распространения в земной коре.

Рассмотрены особенности образования и распространения низкочастотных сейсмических сигналов литосферного происхождения (микросейсм). Проанализированы диапазоны распространения микросейсмических волн в земной коре. Приведены примеры использования взаимодействия низкочастотных сейсмических сигналов с глубинным строением Земли. Определены условия распространения микросейсмических сигналов в земной коре, их распределения от неоднородностей геологической среды. Установлены характер отображения взаимодействия микросейсм с геологическим строением на дневной поверхности и его форма. Проведен анализ характеристик микросейсмических волн и определен диапазон, который является наиболее информативным для дальнейшего геологического исследования. Рассмотрены различные гипотезы эффекта наличия аномалий в низкочастотной части спектра природных микросейсм над нефтегазовыми залежами. Установлена взаимосвязь залежей нефти и газа с частотными характеристиками микросейсмических волн. Рассмотрена методика обработки выявления количественных и качественных параметров нефтегазовых залежей на основе эффекта распространения микросейсмического излучения в земной коре.

На основе проведенного анализа сделан вывод о том, что актуальной задачей является определение основных положений теоретической модели эффекта и его практическое использование. Применение модели следует проводить на репрезентативной выборке для возможности использования сравнительного анализа полученных данных.

Использование методики позволяет уменьшить время на геолого-поисковые работы и снизить стоимость работ. Практическое применение модели эффекта распространения микросейсмических волн возможно для поиска и локализации залежей углеводородов, а также оценки глубин залегания неоднородностей, в частности, контуров нефте- и газоносности. Возможно применение методики для объемного геологического моделирования с использованием данных дистанционного зондирования Земли.

Ключевые слова: *микросейсм, ультранизкочастотные электромагнитные волны, эндогенные источники, дистанционное зондирование Земли, залежи нефти и газа.*